

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

①⑪ N° de publication : 2.063.128  
(A utiliser que pour  
le classement et les  
commandes de reproduction)  
①⑫ N° d'enregistrement national 70.26381  
(A utiliser pour les paiements d'annuités  
les demandes de copies officielles et toutes  
autres correspondances avec l'I.N.P.I.)

①⑬  
DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION

1<sup>re</sup> PUBLICATION

①②② Date de dépôt..... 17 juillet 1970, à 14 h 16 mn.  
①④① Date de la mise à la disposition du  
public de la demande..... B.O.P.I. — «Listes» n. 27 du 9-7-1971.

①⑤① Classification internationale (Int. Cl.).. G 01 p 13/00//G 01 c 21/00.

①⑦① Déposant : Société dite : GENERAL MOTORS CORPORATION, résidant aux États-Unis  
d'Amérique.

Titulaire : *Idem* ①⑦①

①⑦④ Mandataire : Cabinet Lavoix, 2, place d'Estienne-d'Orves, Paris (9).

①⑤④ Dispositif de détection de rotation, notamment pour la navigation par inertie.

①⑦② Invention de :

①③③ ①③② ①③① Priorité conventionnelle : *Demande de brevet déposée aux États-Unis d'Amérique le  
18 juillet 1969, n. 843.109 au nom de Alfred George Emslie.*

BEST AVAILABLE COPY

La présente invention est relative à un procédé et un appareil pour détecter une rotation par rapport à un axe prédéterminé et convenant pour des dispositifs de navigation par inertie analogues aux gyroscopes.

5 Suivant l'invention, il peut être fourni des dispositifs destinés à détecter les vibrations inertielles, qui sont plus sûrs que les dispositifs existants, tels que les gyroscopes, en raison de l'absence de parties mobiles, qui sont relativement insensibles aux faibles variations des dimensions de fabrication et autres conditions et qui peuvent être fabriqués à un prix moindre  
10 que les dispositifs connus tout en obtenant des résultats comparables.

Dans ses formes d'exécution préférées décrites ci-dessous, l'invention utilise des vibrations d'excitation radiales  
15 appliquées au rebord d'une cloche supportée par une plateforme. Un capteur est situé dans une région nodale ou normalement au repos relativement à ces vibrations. En l'absence de rotation de la plateforme, il détecte les vibrations radiales légères éventuelles. La rotation de la plateforme par rapport à l'axe de la cloche excite des vibrations radiales au niveau du capteur. Ces vibrations sont détectées et mesurées ou annulées pour déterminer le  
20 taux de rotation de la plateforme. Le mécanisme est relativement insensible aux légères variations des dimensions de fabrication et autres conditions, utilise des circuits relativement simples, les dispositifs d'excitation et de détection sont extrêmement  
25 efficaces, et on obtient en outre, d'autres avantages.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront au cours de la description suivante, donnée à titre d'exemple et faite en référence aux dessins annexés, dans lesquels:

30 la Fig. 1 représente une vue en perspective avec arrachements partiels, d'un appareil suivant l'invention;

la Fig. 2 représente une vue schématique en plan de dessus de la partie de rebord vibrant de l'appareil de la Fig. 1, le rebord étant représenté à la position neutre et aux deux positions extrêmes, l'intensité de la vibration étant exagérée pour  
35 représenter l'action plus clairement;

la Fig. 3 représente en perspective, avec arrachement partiel, un mode de réalisation de l'invention, des éléments de circuit étant représentés schématiquement;

40 la Fig. 3a représente une vue partielle de l'appareil

de la Fig. 3 et montre plus particulièrement une variante d'exécution du dispositif indicateur;

la Fig. 4 représente en perspective, avec arrachement partiel, une autre forme d'exécution de l'invention, les éléments de circuits étant représentés schématiquement;

la Fig. 5 représente un diagramme des formes d'onde qui sont supposées exister en divers points de l'appareil représenté à la Fig. 4.

En se référant aux Fig. 1 et 2, un résonateur ou cloche B est représenté en position verticale sur une plateforme P. La cloche est fixée à la plateforme au niveau de sa partie centrale de col ou de tige S, comme représenté. La cloche se termine par un rebord L qui est capable de s'infléchir radialement vers l'intérieur et vers l'extérieur par rapport à l'axe Z-Z et définit un anneau autour de cet axe. Comme décrit ultérieurement, la matière et les dimensions de la cloche sont telles que ses vibrations de flexion radiale (vibrations d'excitation) s'effectuent d'une manière très efficace, avec une faible perte d'énergie par cycle de flexion par rapport à l'énergie totale emmagasinée dans le dispositif, (c'est-à-dire des vibrations à coefficient Q élevées). L'excitateur E établit des vibrations radiales dans une région de la périphérie de la cloche B, qui est définie le long de l'axe X-X par le rayon allant de l'excitateur à l'axe Z-Z. Dans la forme d'exécution préférée de l'invention, ces vibrations ont une fréquence telle que le rebord de la cloche s'infléchit vers l'intérieur et vers l'extérieur, comme représenté à la Fig. 2, c'est-à-dire avec un diagramme d'ondes stationnaires définissant un ventre au niveau de l'excitateur E, un ventre supplémentaire à la position diamétralement opposée sur l'axe X-X, et des ventres supplémentaires perpendiculairement à ces ventres. Le diagramme d'ondes stationnaires, dans la forme d'exécution préférée, comporte de plus des noeuds à 45° par rapport aux ventres respectifs, ces noeuds et ces ventres étant indiqués en pointillé à la Fig. 2, qui montrent les positions extrêmes du rebord L de la cloche comme décrit ci-dessous.

Un capteur ou répondeur R est situé au niveau de l'un des noeuds du diagramme d'ondes stationnaires établi par l'excitateur E. Ce répondeur est sensible aux vibrations radiales du rebord L de la cloche B. Comme le répondeur R est situé au niveau d'un noeud, il engendre une réponse faible ou nulle lorsque la

plateforme P est au repos. Toutefois, lorsque la plateforme P tourne par rapport à l'axe Z-Z (ou est déplacée d'une manière quelconque comportant une composante de rotation par rapport à l'axe Z-Z), on a constaté que le répondeur R détecte les vibrations radiales, l'amplitude des vibrations correspondant sensiblement à la vitesse de rotation de la plateforme P. La réponse du répondeur R indique par conséquent la vitesse de rotation de la plateforme P par rapport à l'axe Z-Z ou à un axe qui lui est parallèle. Cette réponse peut être intégrée, selon la pratique classique, pour déterminer la rotation totale ou être traitée autrement.

On pense que l'appareil de l'invention fonctionne selon le principe représenté à la Fig. 2. Comme représenté, le rebord L présente une forme circulaire et normalement non fléchie, comme indiqué en trait plein sur cette figure. Les vibrations d'excitation infléchissent le rebord L entre les deux positions extrêmes représentées en pointillé et en tireté respectivement à la Fig. 2. Le rebord L vibre radialement au niveau de la région 10 entre les positions extrêmes 12 et 14, au niveau de la région 18 entre les positions extrêmes 20 et 22, au niveau de la région 26 entre les positions extrêmes 28 et 30 et au niveau de la région 34 entre les positions extrêmes 36 et 38. Ce sont tous des ventres du régime d'onde stationnaire induit par l'excitateur E qui est excité à la fréquence appropriée pour établir ce régime. Il existe entre ces ventres des régions nodales 16, 24, 32 et 40. Ces noeuds sont situés à des positions angulaires de 45° à peu près par rapport à l'axe X-X, comme représenté. Comme indiqué, il n'apparaît pratiquement pas de vibration radiale au niveau de ces régions nodales respectives lorsque la plateforme est au repos. On notera toutefois que lorsque le bord s'incurve pour prendre la forme elliptique 12, 22, 28 et 36, la longueur de l'arc entre les régions 16 et 40 et entre les régions 24 et 32 augmente et la longueur de l'arc entre les régions 16 et 24 et les régions 32 et 40 diminue. Les régions 24 et 40 ont donc tendance à se déplacer à la périphérie dans le sens inverse des aiguilles d'une montre à partir de la position neutre et les régions 16 et 32 ont tendance à se déplacer à la périphérie dans le sens des aiguilles d'une montre à partir de la position de repos. Lorsque le rebord L prend la forme extrême opposée définie par les régions 14, 20, 30 et 38, les régions 24 et 40 ont tendance à se déplacer à la périphérie dans le sens des aiguilles d'une montre à partir de la position de repos et les

régions 16 et 32 ont tendance à se déplacer à la périphérie dans le sens inverse des aiguilles d'une montre à partir de la position de repos.

Les régions 16, 24, 32 et 40 se déplacent ainsi sur la  
5 périphérie en réponse aux vibrations radiales d'excitation engendrées par l'excitateur E. Ces déplacements périphériques s'effectuent naturellement à la même fréquence que celle des vibrations d'excitation. Lorsque la plateforme P tourne par rapport à l'axe Z-Z ou se déplace selon un mouvement comportant une composante de  
10 rotation, ces déplacements périphériques respectifs des régions 16, 24, 32 et 40 engendrent des forces radiales. On pense qu'elles sont dues à l'accélération de Coriolis associée aux vibrations périphériques essentiellement linéaires et aux mouvements de rotation de la plateforme. Les régions préalablement au repos (en ce  
15 qui concerne les vibrations radiales) se déplacent radialement selon des vibrations dont l'amplitude est déterminée par des vibrations périphériques initiales et la vitesse angulaire de la plateforme P par rapport à l'axe Z-Z. On pense que cette action rend compte du fait que le répondeur R ne délivre pratiquement pas de  
20 signal de sortie lorsque la plateforme P est au repos et délivre un signal de sortie lorsque la plateforme P se déplace selon un mouvement comportant une composante de rotation par rapport à l'axe Z-Z.

Le dispositif produit ainsi un signal détecté qui est  
25 déterminé par la vitesse de rotation par rapport à l'axe de la plateforme, signal qui est similaire à celui produit par un gyroscope classique. Le procédé et l'appareil de l'invention peuvent donc être utilisés dans les appareils de navigation ou autres d'une manière similaire à un gyroscope. Toutefois, dans le procédé  
30 et l'appareil de l'invention, il n'est pas utilisé de paliers ni de masses rotatives et le dispositif obtenu est relativement simple, durable et de fabrication aisée.

La Fig. 3 représente une forme d'exécution particulière de l'appareil de l'invention et un mode de mise en oeuvre du procédé. En se référant à cette figure, on voit que la cloche B com-  
35 porte un axe de symétrie Z-Z. Elle repose sur la plateforme P au moyen de sa propre embase 42. Dans la forme d'exécution particulière représentée, la cloche B est tournée à partir d'un bloc d'alliage d'aluminium 2024-T4, l'embase 42 se trouvant dans un  
40 plan perpendiculaire à l'axe Z-Z de symétrie ou de tournage. La

cloche B comprend une partie de col ou de tige S dirigée vers le haut à partir de l'embase 42 et elle s'évase au-dessus de la tige S selon la forme générale d'une cuvette. Celle-ci est définie par une zone centrale générale 44, une zone latérale concave-convexe 46 et un rebord généralement cylindrique L. L'épaisseur de la cloche B diminue d'une manière générale entre la zone centrale 44 et le rebord L comme représenté. La forme est généralement hémisphérique, c'est-à-dire que les deux côtés 46 ont un rayon pratiquement constant lorsqu'il est mesuré à partir du point de concours des axes X-X, Y-Y et Z-Z. Toutefois, le bord L présente une forme généralement cylindrique autour de l'axe Z-Z et son épaisseur est relativement constante.

L'embase 42 de la cloche B est fixée à la plateforme P au moyen de brides 50 en T dans des fentes radiales 52 de la plateforme P. La plateforme P est constituée par une table montée sur un support 54 et pouvant tourner par rapport à lui au moyen d'une vis sans fin (non représentée) et d'une manivelle 56 sur laquelle la valeur de la rotation est indiquée. Ainsi, on peut faire tourner la cloche B sur la plateforme P autour de l'axe Z-Z à une vitesse déterminée par la rotation de la manivelle 56.

Un montant 58 est monté verticalement à partir de l'embase ou de la plateforme P et positionne l'excitateur E en regard du rebord de L de la cloche B, comme représenté. L'excitateur E se trouve sur l'axe X-X. De même, un montant vertical 60 monté sur l'embase ou la plateforme P positionne le capteur ou répondeur R en regard du rebord L selon un angle de 45° à peu près par rapport à l'axe X-X et dans le plan normal à l'axe Z-Z.

Des vibrations radiales sont appliquées au rebord L par l'excitateur E. Comme représenté à la Fig. 3, le montant 58 enserre et supporte un cylindre de micromètre 70a. L'élément mobile 70b du cylindre de micromètre peut se déplacer dans la direction radiale par rapport au rebord L en faisant tourner le bouton moleté 70c. Un manchon isolant (non représenté) entoure le cylindre 70a dans les parties enserrées par le montant 58 de façon à isoler électriquement le cylindre 70a du reste de l'appareil. La position du montant 58 qui supporte l'excitateur E est réglable par rapport au rebord L au moyen de boulons en T 62 montés dans des fentes radiales en T 52 et le réglage périphérique s'effectue au moyen de fentes ménagées dans la plaque 64.

La pointe de l'élément mobile 70 b est située à une

très faible distance du rebord L. Une différence de tension entre cet élément 70b et le rebord L définit un champ électrostatique qui attire le rebord L vers la pointe de l'élément 70b. Cette tension appliquée à l'élément 70b est une tension alternative dont la fréquence est pratiquement égale à la fréquence fondamentale du rebord L pour les vibrations décrites ci-dessus en relation avec la Fig. 2 (cette fréquence étant naturellement modifiée par la structure de la cloche B dans son ensemble et non par celle du rebord L, ou par une partie de la cloche prise en tant que corps libre). L'appareil permettant d'obtenir ce mode de fonctionnement est représenté schématiquement à la Fig. 3. Plus précisément, un oscillateur 90 entre en auto-oscillation pratiquement à la fréquence de résonance de la cloche B, par exemple 1.600 Hz. L'onde de sortie de cet oscillateur est amplifiée par un amplificateur 94 et est redressée ensuite par un redresseur à une alternance 98. La tension obtenue qui est appliquée à la pointe de l'élément 70b présente la forme d'une suite d'impulsions alternées unidirectionnelles ayant une fréquence de récurrence qui correspond à la fréquence fondamentale d'oscillation de la cloche B. En fonctionnement, la relation de phase de chaque impulsion est telle qu'elle renforce les oscillations, de sorte qu'il s'établit dans la cloche B des vibrations d'excitation dont l'énergie et l'amplitude sont beaucoup plus grandes que celles d'une impulsion d'attaque unique. Autrement dit, le rebord L de la cloche B fonctionne comme un circuit oscillant électrique à coefficient Q élevé.

L'amplitude des oscillations d'excitation est déterminée par la distance entre la pointe 70b du micromètre 70 et le bord B ainsi que par l'amplitude des impulsions de tension successives appliquées à la pointe 70b.

Le répondeur peut être par exemple un appareil de mesure de la distance du type connu sous le nom de compteur Wayne Kerr DM 100. Un tel appareil comporte une électrode de lecture 76 (Fig. 3a) qui contient une sonde centrale isolée 76a. Une électrode de garde ou manchon 76b qui est fixé par une bride ou monté autrement sur le montant 60, le manchon et la sonde étant isolés par rapport au montant 60 et montés coaxialement. L'électrode de garde et la sonde sont isolées du montant 60 par un dispositif convenable (non représenté). La sonde et l'électrode de garde s'étendent jusqu'à des positions proches du rebord L, comme représenté, de sorte que la capacité entre la sonde et le rebord L est une mesure

de la flexion radiale du rebord dans la région de la sonde. L'électrode de garde 76b réduit à une valeur minimale les effets de frange dans le champ entre la sonde et le rebord L et isole la sonde des champs parasites. La position du montant 60 supportant le ré-  
5 pondeur R est réglable par rapport au rebord L au moyen d'un boulon en T 62 s'étendant dans une fente en T radiale 52 de la table tournante P et le réglage périphérique s'effectue au moyen de fentes de la plaque 64.

L'appareil de détection peut être tel qu'il est représenté sous la forme quelque peu simplifiée à la Fig. 3 et plus en  
10 détail à la Fig. 3a. Il peut comprendre un oscillateur 110 fonctionnant à une fréquence convenable, 50 kHz par exemple, et fournissant une tension de sortie sensiblement constante pour produire une onde porteuse. La sortie de cet oscillateur est appliquée à un  
15 diviseur de tension défini par une capacité 112 et la capacité entre la cloche et la masse 114 à partir de la sonde 76a, comme représenté. Ainsi, lorsque le rebord L s'infléchit et définit une capacité variable entre la sonde 76 et la masse 114, la tension de 50 kHz en 116 varie en amplitude d'une quantité déterminée par  
20 l'amplitude de la flexion radiale du rebord L et à une fréquence déterminée par la fréquence de cette flexion. La tension de 50 kHz ainsi modulée au point 116 est amplifiée en 117 et est redressée ensuite par un redresseur 118 afin d'engendrer une composante de fréquence égale à la fréquence de la variation de capacité au ni-  
25 veau de la sonde 76a (par exemple 1600 Hz). Il est fourni une connexion de mise à la masse 115 pour assurer la mise à la masse de la cloche B et rendre possible la réaction de l'amplificateur à gain élevé 117 au moyen de l'appareil de mesure Wayne Kerr commercial sus-mentionné.

30 Le filtre 102 est un filtre passe-bande à bande passante relativement étroite pour la fréquence d'excitation (par exemple 1600 Hz), de sorte que la sortie du filtre 102 apparaissant sur le conducteur 104 est une onde sinusoïdale ayant une amplitude instantanée qui est déterminée par la vibration radiale du rebord  
35 L. Cette onde est détectée et indiquée par l'appareil de mesure 106. L'appareil de mesure 106 peut être par exemple d'un type connu tel qu'un démodulateur sensible à la phase "Phazor" indiquant la phase et l'amplitude d'un signal inconnu variable par rapport à une référence. Dans le présent mode de réalisation, l'appareil  
40 de mesure 106 fournit un signal proportionnel à la vitesse de ro-



rotation de la plateforme P par rapport à l'axe Z-Z et de sens positif ou négatif selon le sens de rotation de la plateforme P.

Il est souhaitable de fournir en vue du réglage une indication de l'amplitude de la sortie du filtre 102 par rapport à la sortie de l'oscillateur 90. Comme représenté à la Fig. 3, ceci  
5 peut être effectué en appliquant la sortie du filtre 102 à un oscilloscope à deux faisceaux 119. Un faisceau répond à la sortie de l'oscillateur 90 apparaissant sur le conducteur 92. L'autre faisceau répond à la sortie du filtre 102, de sorte que les amplitudes des oscillations respectives peuvent s'observer facilement.  
10 Le montant 60 étant dans une position espacée du noeud, de sorte que la sonde 76b répond aux oscillations d'excitation, on peut faire varier la fréquence de l'oscillateur 90 tout en observant sur l'oscilloscope les amplitudes des ondes provenant du filtre  
15 102 et de l'oscillateur 90. En réglant la fréquence de manière à obtenir une sortie maximale du filtre 102, on peut régler l'oscillateur 90 pour obtenir la fréquence fondamentale de la cloche B. Ce réglage étant effectué, il est alors possible de déplacer le montant 60 périphériquement jusqu'à ce que la sortie du filtre 102  
20 disparaisse pratiquement. Ceci indique que la région nodale a été atteinte. On peut alors observer la sortie du filtre 102 pour déterminer la rotation autour de l'axe Z-Z.

La Fig. 4 représente une variante de l'appareil d'excitation au moyen duquel la fréquence d'excitation appropriée est  
25 atteinte automatiquement. Dans cet appareil, les parties correspondantes à celles de la Fig. 3 portent des références analogues. Comme représenté, il est fourni un capteur supplémentaire 80 situé de façon diamétralement opposée à l'excitateur E. Le capteur 80 peut être par exemple de même construction que le répondeur R  
30 décrit ci-dessus en référence à la Fig. 3 et être excité par une onde porteuse d'une manière similaire. Le capteur 80 produit une tension de sortie sur la ligne 86 à partir du filtre 84 (correspondant au filtre 102 des Fig. 3 et 3a). La valeur instantanée de cette tension est déterminée par la position radiale du rebord L  
35 au point 26. Cette tension sinusoïdale est déphasée de 90° environ par un déphaseur 88 et est appliquée par l'intermédiaire du conducteur 92 à un amplificateur 94 qui excite à son tour le redresseur 98 par l'intermédiaire du conducteur 96 et ensuite l'électrode d'attaque 70 de l'excitateur E. Cette électrode d'attaque est  
40 de même construction que décrit ci-dessus en référence à la Fig. 3

On notera que l'on peut suivre une boucle de réaction allant de l'excitateur E, passant par le rebord L, le capteur 80 et ensuite le filtre 84, le déphaseur 88, l'amplificateur 94 et le redresseur 98 en revenant à l'excitateur E. Cet ensemble auto-oscillant présente une fréquence fondamentale d'oscillation qui est déterminée principalement par la fréquence mécanique fondamentale des oscillations radiales du rebord L. Le gain de la boucle définie par l'excitateur E, le capteur 80, le filtre 84, le déphaseur 88, l'amplificateur 94 et le redresseur 98 fixe l'amplitude des oscillations qui est constante tant que le gain est maintenu constant.

Dans l'appareil de la Fig. 4, une entrée d'un phasemètre 106 est excitée par la sortie du filtre 102 par l'intermédiaire de l'amplificateur 103 et l'autre entrée est excitée par la sortie du filtre 84 par l'intermédiaire de l'amplificateur 77 et du déphaseur 79. Le déphaseur 79 est réglé de manière à assurer une quadrature de phase entre les deux entrées lorsque la cloche B ne tourne pas. Le filtre 102 et l'amplificateur 103 (Fig. 4) produisent une onde sensiblement sinusoïdale à la fréquence d'excitation lorsque la cloche B tourne autour de l'axe Z-Z. Ce signal est appliqué au phasemètre 106. Ce dernier reçoit également l'onde sinusoïdale de fréquence d'excitation du filtre 84 par la ligne 86, l'amplificateur 77 et le déphaseur 79. Ce dernier est réglé de manière à fournir un signal à la seconde entrée du phasemètre 106 qui est sensiblement en phase ou en opposition de phase avec le signal provenant du filtre 102 et de l'amplificateur 103 lorsque la cloche tourne autour de l'axe Z-Z.

L'appareil de mesure 106 mesure la composante en phase du signal provenant de l'amplificateur 103 par rapport au déphaseur 79. Lorsque la cloche B tourne autour de l'axe Z-Z dans un premier sens, cette composante augmente dans le sens positif. Lorsque la cloche B tourne autour de l'axe Z-Z dans l'autre sens, cette composante augmente dans le sens négatif. Ainsi, par comparaison de phase, le dispositif permet de mesurer à la fois le sens et l'amplitude de rotation de la cloche B. De plus, les signaux parasites apparaissant dans le capteur 76 à la fréquence d'excitation ont tendance à être en quadrature avec les signaux dus à la rotation de la cloche B et ces signaux en quadrature ne sont pas détectés par le phasemètre 106. Ils n'apparaissent donc pas à sa sortie indiquée. Le phasemètre 106 est également relativement insensible aux signaux parasites dont la fréquence n'est pas la fréquence

d'excitation de vibration, ce qui fournit une indépendance supplémentaire par rapport au bruit de fond.

On décrit maintenant la contribution générale des composants de la boucle de la Fig. 4 destinée à déclencher et maintenir des oscillations d'excitation du rebord L en se référant aux formes d'ondes de la Fig. 5 qui représente sur une échelle de temps commune les formes d'onde générales rencontrées. La cloche B n'étant initialement pas excitée, mais la boucle de réaction décrite ci-dessus l'entourant et étant excitée, une variation initiale par rapport à l'état de repos due à un choc ou à une autre raison est captée par le capteur 80, amplifiée et réappliquée à l'excitateur 70. Cette action se poursuit dans un sens positif et jusqu'à ce que le gain de la boucle diminue pour atteindre la valeur qui entretient juste les oscillations. En d'autres termes, au départ, le gain de la boucle est grand et toute oscillation détectée par l'électrode 80 est amplifiée de façon à produire un potentiel sur l'électrode 70 qui augmente encore l'amplitude (en raison du gain de la boucle). L'amplitude du potentiel d'excitation présent sur l'électrode 70, l'inflexion des régions de rebord 10 et 26 (Fig. 2) et l'amplitude du signal capté sur l'électrode 80 augmentent progressivement de ce fait jusqu'à ce qu'un point soit atteint pour lequel le gain de la boucle diminue. Il en résulte qu'une série d'impulsions d'attaque sont appliquées à l'électrode 70 pour établir les oscillations d'excitation désirées à la fréquence fondamentale de la cloche B.

Lorsque l'excitation se produit, le signal d'excitation appliqué à l'électrode 70 est constitué par des impulsions unidirectionnelles successives 120 (Fig. 5). Les déplacements radiaux des régions de rebord 10 et 26 sont ceux représentés par la forme d'onde 122. Autrement dit, la force d'attraction est d'abord appliquée à la région de rebord 10 lorsqu'elle n'est pas à son péri-gée 14. La force d'attraction disparaît lorsque la région de bord 10 passe par sa position neutre et dépasse son apogée opposé 12 pour lequel toute force d'entraînement est bloquée pendant l'alternance suivante par le redresseur 98. Le rebord L revient ensuite à la région 14 sous l'action mécanique de la cloche.

Comme décrit ci-dessus, la sortie 86 du filtre 84 (Fig. 4) présente une valeur instantanée qui est déterminée par la position du rebord L par rapport au capteur 80. Cette forme d'onde est représentée en 124 (Fig. 5) et est une tension alterna-

tive sensiblement en phase avec l'onde de vibration mécanique 122. De même, la sortie 126 de l'amplificateur 94 (qui est redressée par le redresseur 98 pour produire des impulsions d'attaque alternées 120) est la même onde déphasée par le déphaseur 88, comme représenté à la Fig. 5. Les déplacements périphériques des régions 16, 24, 32 et 40 (Fig. 2) s'effectuent à l'unisson avec la flexion radiale du rebord L et la force radiale produite par l'accélération de Coriolis est en phase avec un tel déplacement périphérique et en accord avec la vitesse angulaire autour de l'axe Z-Z. La force de Coriolis exercée sur les régions 24 et 40 lorsque la plateforme tourne varie de la manière représentée par l'onde 128. Les déplacements radiaux qui en résultent au niveau des régions 24 et 40 ont une fréquence analogue mais sont déphasés, comme représenté par la courbe 130 de la Fig. 5. Ces déplacements sont détectés à leur tour par le répondeur R afin de produire l'onde de tension de sortie dans le filtre 102, comme représenté par la courbe 132 de la Fig. 5.

Afin d'obtenir une meilleure utilisation du procédé et de l'appareil de l'invention, il faut rendre optimaux le dispositif ainsi que les conditions de fonctionnement. Afin d'obtenir la sensibilité maximale de détection des capteurs 76 et 80 par exemple, il faut réaliser une amplitude maximale de flexion des côtés 46 de la cloche B et du rebord L et les déplacements du rebord doivent présenter une amplitude maximale tout en maintenant la contrainte dans les limites d'élasticité de la matière constituant la cloche B. Cette dernière considération a pour conséquence que la limite élastique de cette matière doit être aussi élevée que possible, compatible avec la stabilité de la matière et son facteur Q, qui est examiné ci-dessous. Cette flexion maximale pour un niveau de contrainte donné s'obtient principalement par l'action de la courbure des côtés 46 par rapport à la tige S. Il a été découvert que cette amplitude peut être rendue maximale en utilisant le rayon maximal pratique "a" (Fig. 4) et l'épaisseur minimale des côtés "h" (Fig. 4).

Afin d'entretenir l'oscillation dans la cloche B, comme décrit ci-dessus, il faut appliquer de façon répétitive de l'énergie aux côtés 46 sans laisser l'amplitude de cette force provoquer le déplacement de la limite élastique. L'énergie d'entrée par cycle de flexion est de préférence réduite à une valeur minimale non seulement pour réduire la consommation d'énergie du dispositif

mais également pour rendre maximaux les rapports signal/bruit en nécessitant une force moindre pour annuler les effets du bruit électronique et des capteurs et des excitateurs mal alignés. Sinc de tels effets risqueraient d'être interprétés comme des signaux  
5 dus à l'entrée. Il est intéressant de choisir une matière ayant un coefficient  $Q$  maximal. Par coefficient  $Q$ , on entend le rapport entre l'énergie emmagasinée dans l'ensemble oscillant et l'énergie dissipée au cours d'un cycle. Les matières présentant les coefficients  $Q$ , des limites élastiques et des modules d'élasticité favorables tout en restant facilement usinables comprennent des allia-  
10 ges d'aluminium tels que l'alliage 2024-T4. Cet alliage contient généralement 93,4 % d'aluminium, 4,5 % de cuivre, 1,5 % de magnésium et 0,6 % de manganèse. Les alliages de bronze, d'aluminium et de silicium ou alliages "Everdur" comportant 96 % de cuivre, 3 %  
15 de silicium et 1 % de manganèse ou 91 % de cuivre, 7 % d'aluminium et 2 % de silicium présentent également des propriétés favorables.

La cloche B représentée à la Fig. 1 est de préférence en aluminium 2024-T6 ayant un module d'élasticité  $E$  de  $0,742 \times 10^6$  kg/cm<sup>2</sup> et un coefficient  $Q$  de 3000 dans l'air, de 3100 dans l'hélium et jusqu'à 12000 dans un vide de  $10^{-2}$  mm de Hg. Elle est  
20 accordée sur une fréquence fondamentale de 1600 Hz selon l'axe  $X$  et l'axe à  $45^\circ$  du capteur avec une différence de 0,03 Hz ou moins. Dans le mode de réalisation préféré de l'invention, représenté à la Fig. 3, le côté 46 comporte une partie de rebord cylindrique  
25 48 située à l'extrémité d'une partie sphérique 47, les deux ayant un rayon moyen " $a$ " de 25,4 mm. L'épaisseur des côtés 46 dans la région sphérique 47 varie d'une valeur maximale  $h_0$  dans la région centrale 44 à une épaisseur finie  $h$  selon la formule  $h = \frac{h_0}{4} (1 + \cos \theta)^2$ , dans laquelle  $\theta$  est l'angle sphérique sous-tendu par  
30 l'axe polaire passant par le centre 44. On pense que cette épaisseur assure une contrainte maximale uniforme dans toute la cloche. Le bord 48 présente une épaisseur constante  $h_0/4$ , dans le cas présent environ 0,635 mm, et une longueur axiale selon l'axe  $Z-Z$  d'environ 6,35 mm. On pense que ce bord augmente le moment du rebord  $L$  et permet une flexion accrue de ce dernier lorsque les  
35 forces de Coriolis mentionnées ci-dessus s'exercent sur lui.

Les capteurs 76 et 80 et l'excitateur 70 utilisés avec le montage de la Fig. 4 par exemple comportent des électrodes capacitatives de 2 mm de diamètre situées radialement à 25  $\mu$  du  
40 rebord  $L$  (lorsque le rebord  $L$  est à la position neutre). Le signal

BAD ORIGINAL

provenant de l'amplificateur 94 présente une tension de crête de 2,23 V et les signaux provenant des capteurs 76 et 80 ont des sensibilités de 230 mV par déviation de 25  $\mu$ . De plus, avec la disposition représentée à la Fig. 4, les sorties détectées sont  
5 linéaires pour une rotation d'entrée allant jusqu'à 25° par seconde.

Les noeuds 16, 24, 32 et 40 et les ventres 12, 20, 28 et 38 peuvent être tracés axialement le long de la cloche B en direction de la zone centrale 44 où ils concourent et où les mouvements  
10 résultants radiaux et tangentiels, sont sensiblement nuls. La tige S n'intervient donc pas dans les oscillations d'excitation et les vibrations de l'ambiance au niveau du support (et qui sont communiquées à la tige S) ne sont pas détectées par les capteurs. La caractéristique de construction la plus importante de la cloche  
15 B est qu'elle peut avoir une forme symétrique par rapport à l'axe Z-Z et être supportée dans la région centrale 44 sur cet axe. Cette symétrie s'obtient relativement facilement au moyen des techniques d'usinage normales.

Le dispositif peut être excité à des fréquences plus  
20 élevées de façon à engendrer un plus grand nombre de ventres et de noeuds, par exemple 6 ou même 8 au lieu des 4 représentés pour  $n = 2$ . Ceci produit des ventres et des noeuds espacés à la périphérie à des distances angulaires les uns des autres de  $180^\circ/n$  degrés,  $n$  étant le nombre de ventres ou de noeuds dans un arc de  $180^\circ$ .

Au cours du fonctionnement de toutes les formes d'exécution de l'invention décrite ci-dessus, il est souhaitable que le milieu soit prévu de manière à fournir une énergie d'entrée relativement petite par cycle de l'oscillation d'excitation par rapport à l'énergie emmagasinée. Ceci a pour avantage de nécessi-  
25 ter une énergie de sortie minimale. De plus, il est souhaitable que l'amplitude des oscillations soit sensiblement constante sur une courte période de temps quelconque lorsque les effets de la rotation de la plateforme doivent être mesurés. Il résulte de ces considérations qu'il est intéressant d'obtenir des oscillations  
30 à coefficient Q élevé et un temps d'oscillation important. Les principaux facteurs qui agissent sur le rapport entre l'énergie emmagasinée et l'énergie d'entrée par cycle (Q) sont la forme du milieu, le module d'élasticité du milieu, la densité de la matière constituant le milieu et le facteur de perte de la matière en  
35 flexions d'excitation. Comme décrit ci-dessus dans le cas de la  
40

cloche, l'épaisseur de la cloche augmente de préférence entre le rebord et l'axe de façon à exercer une contrainte de flexion sensiblement constante sur toute la surface du matériau. Le module d'élasticité du matériau de la cloche doit être aussi élevé que possible de façon à permettre des oscillations de grande amplitude dans des limites d'élasticité et avec des pertes d'énergie minimales. La densité du matériau de la cloche détermine l'énergie emmagasinée lorsqu'elle est en mouvement et la fréquence ainsi que le moment des oscillations et doit être aussi grande que possible. De plus, les pertes d'énergie de la matière pendant la flexion, appelées quelquefois facteur de perte, déterminent la perte d'énergie par cycle et doivent être aussi faibles que possible. Comme décrit ci-dessus, on a constaté que l'alliage d'aluminium 2024-T4 et "Everdur" fournissent ces diverses caractéristiques, bien qu'il soit entendu que ces matières ne sont données qu'à titre d'exemple et que d'autres peuvent être utilisées.

Dans la description ci-dessus, on a utilisé l'expression "cloche" pour décrire d'une manière générale un élément comportant une partie annulaire et s'étendant selon une configuration concave-convexe jusqu'à un point central. Un tel élément peut avoir la forme d'une cuvette, peut être évasé au niveau du rebord, comme une cloche de bateau ou d'église, ou peut même être doublée pour définir une sphère. Dans tous les cas, une partie annulaire élastique capable de vibrer radialement est prévue et peut être supportée à la jonction des noeuds et des ventres, comme décrit ci-dessus. De plus, dans la description ci-dessus, on met l'accent sur les vibrations les plus significatives mises en jeu. On pense en fait que le rebord L subit des vibrations complexes selon des modes nombreux, comprenant des modes radiaux, périphériques et axiaux, vibrations qui sont toutes couplées dans une certaine mesure et peuvent être détectées. On estime toutefois que le fonctionnement pratique et les avantages de l'appareil sont dûs essentiellement aux vibrations décrites.

Enfin, on peut utiliser divers milieux creux ou massifs au lieu de la cloche particulière décrite, tant que les vibrations radiales appliquées par rapport à un axe donné engendrent des vibrations présentant des régions sensiblement nulles et que la rotation autour de l'axe engendre des vibrations radiales au niveau de ces régions nulles par interaction avec les vibrations appliquées. Outre les cloches décrites ci-dessus, on peut utiliser des

milieux creux ou même en forme de boule pour lesquels les vibrations radiales sont provoquées par une action de flexion. De plus, même si les vibrations appliquées sont provoquées par une action de compression ou de cisaillement et peuvent par conséquent ne pas  
5 être aussi prononcées que pour des milieux creux ou en forme de coquille, des milieux massifs tels que des disques, des cristaux à huit faces et des plaques de périmètre irrégulier dont les masses sont équilibrées dans les directions des vibrations peuvent être  
10 utilisés tant que le milieu est capable d'entretenir les vibrations, comme décrit ci-dessus.

15

20

25

30

35

40



REVENDECATIONS

1. - Dispositif de détection d'une rotation autour d'un axe prédéterminé, comportant une plateforme qui supporte un élément vibrant, un excitateur et un détecteur, caractérisé en ce que l'élément vibrant est un élément à coefficient Q élevé qui définit un périmètre autour de l'axe, l'excitateur agissant sur le périmètre pour conférer des premières vibrations radiales à l'élément, les vibrations présentant une région sensiblement nulle en l'absence de rotation de la plateforme et le détecteur étant situé au voisinage du périmètre au niveau de la région pratiquement nulle de façon à être sensible à des secondes vibrations radiales au niveau de la région nulle et qui résultent de la rotation de la plateforme autour de l'axe.

2. - Dispositif suivant la revendication 1, caractérisé en ce que l'excitateur est fixé sur la plateforme par rapport à l'élément vibrant et définit une première électrode qui engendre une série d'impulsions de tension de fréquence fournissant les vibrations radiales, le détecteur étant fixé sur la plateforme par rapport à l'élément vibrant et définissant une seconde électrode sensible à la capacité entre la seconde électrode et l'élément.

3. - Dispositif suivant la revendication 1, caractérisé en ce que la région pratiquement nulle est l'une d'une série de régions nodales du diagramme de vibration, ces régions nodales étant espacées en alternance à intervalles angulaires égaux à la périphérie du périmètre par rapport aux régions de ventre et les vibrations radiales des régions nodales ou de ventres ne produisant pas de vibrations radiales dans l'autre région.

4. - Dispositif suivant la revendication 3, caractérisé en ce que la disposition angulaire entre une région nodale et une région de ventre forme un angle de  $180^\circ/2n$  degrés et des multiples impairs,  $n$  étant le nombre de régions nodales produites dans  $180^\circ$  du diagramme de vibration.

5. - Dispositif suivant la revendication 3, caractérisé en ce que l'élément à coefficient Q élevé a la forme générale d'une cloche dont les côtés sont pratiquement symétriques par rapport à l'axe prédéterminé et définissant un rebord dont le plan est normal à l'axe.

6. - Dispositif suivant la revendication 5, caractérisé en ce que l'épaisseur des côtés augmente progressivement en se déplaçant du rebord vers l'axe.

7. - Dispositif suivant l'une quelconque des revendications 3, 4, 5 ou 6, caractérisé en ce que les lieux de deux au moins des régions nodales définissent diverses sections commune sur l'élément.

5 8. - Dispositif suivant la revendication 7, caractérisé en ce que l'élément et la plateforme sont raccordés par une tige à l'intersection et le long de l'axe.

10 9. - Procédé de détection du mouvement d'un élément par rapport à un axe prédéterminé, caractérisé en ce qu'il consiste à appliquer des vibrations radiales à un élément à coefficient Q élevé dans une première direction radiale par rapport à l'axe prédéterminé, les vibrations ayant une fréquence sensiblement égale à la fréquence fondamentale des vibrations de l'élément, ce qui fournit un diagramme de vibration comportant des régions de repos, et à détecter les vibrations dans une seconde direction  
15 radiale par rapport à l'axe au niveau de l'une des régions de repos, les vibrations résultant de l'interaction entre le déplacement du premier élément par rapport à l'axe et les effets des vibrations selon la première direction.

20 10. - Procédé suivant la revendication 9, caractérisé en ce qu'il consiste à calculer la vitesse de rotation de l'élément par rapport à l'axe prédéterminé à partir des vibrations détectées dans la seconde direction.

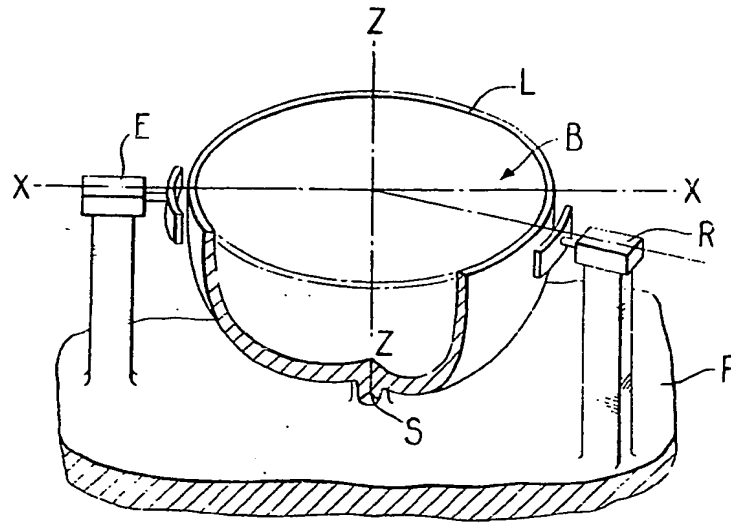


FIG. 1

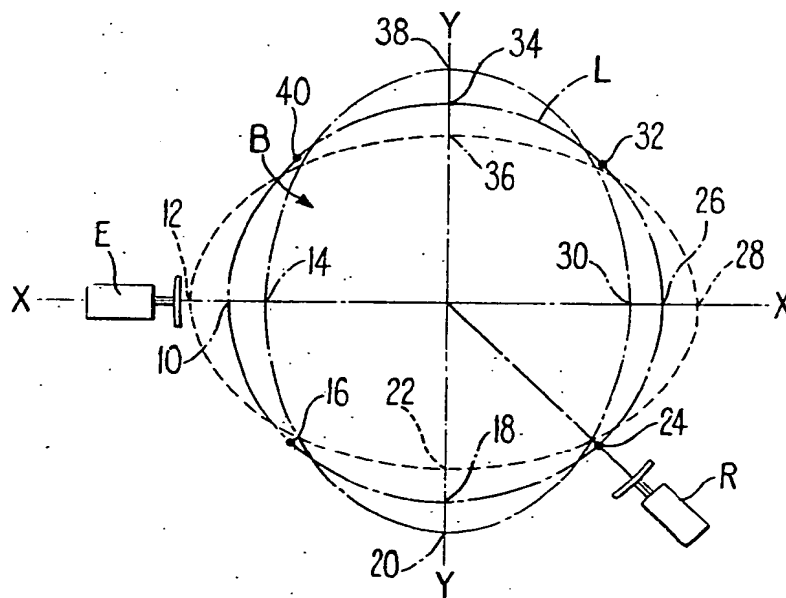


FIG. 2

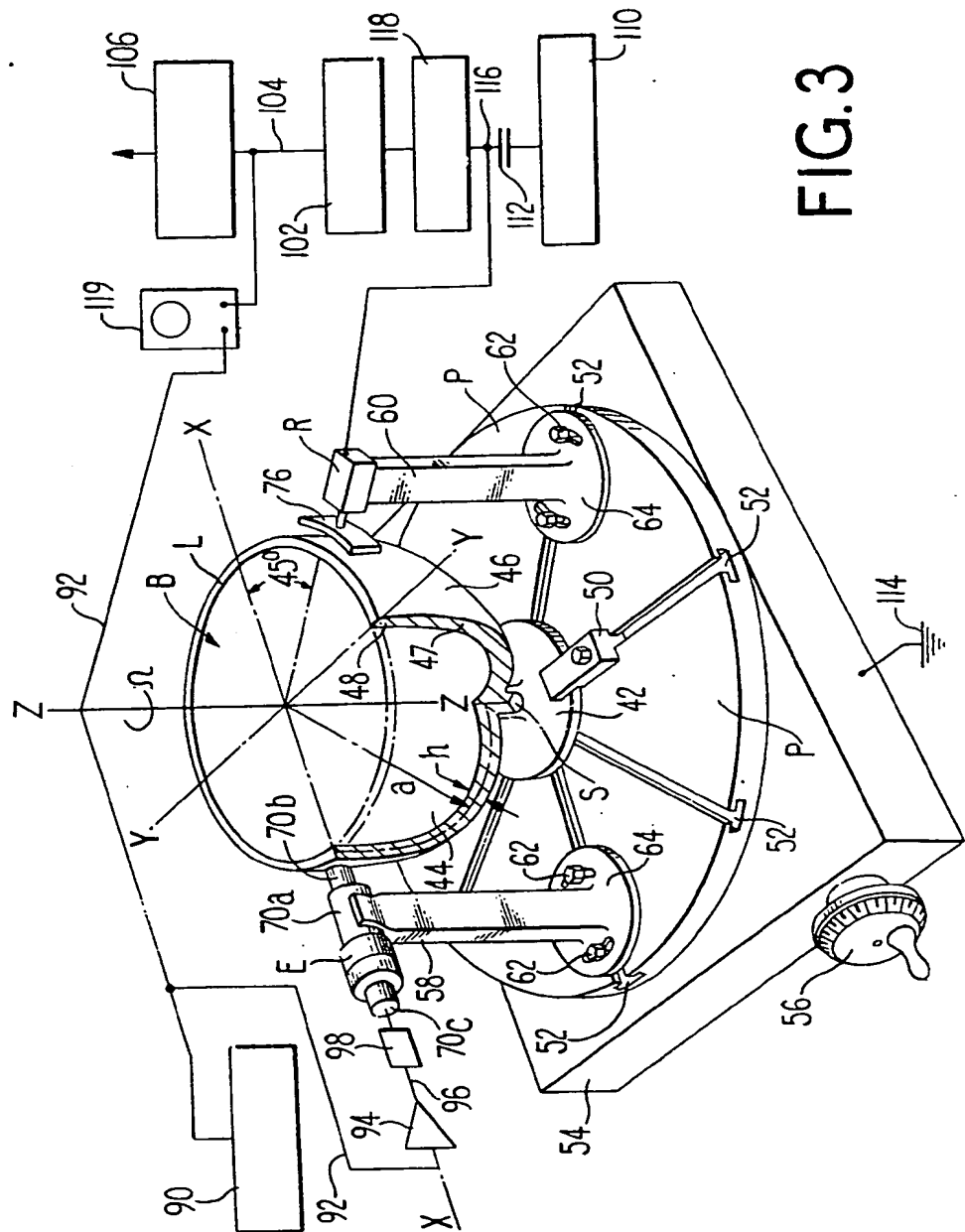


FIG. 3

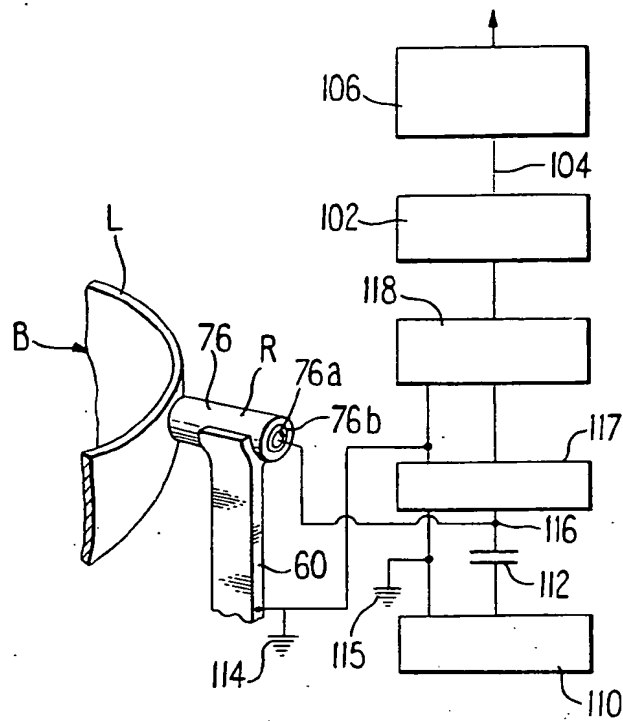


FIG. 3a

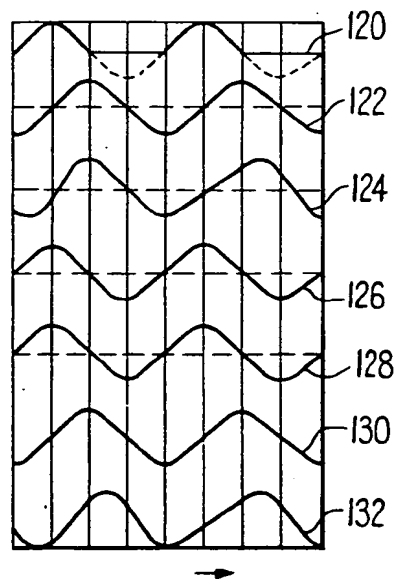
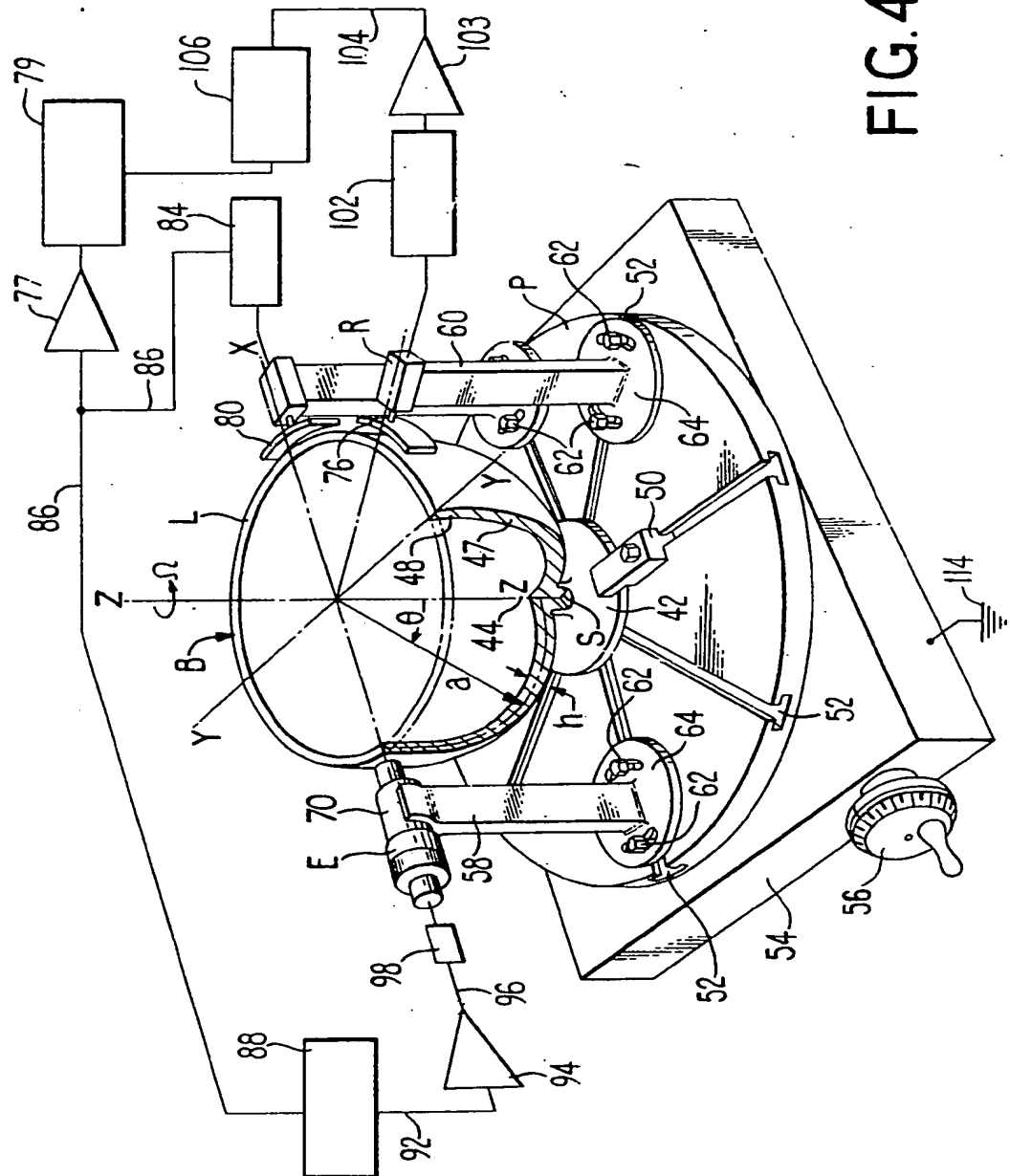


FIG. 5



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**